

Analisis Perbandingan Laju *Spindle* Terhadap Kekasaran Permukaan AISI 4140 Menggunakan *Face Mill*

Analysis Comparison Of Spindle Rate Surface Roughness AISI 4140 Using Face Mill

Khairil Anas¹, Budha Maryanti², Kuswandi Arifin³

¹Teknik Mesin, Universitas Balikpapan, Jl Pupuk Raya Balikpapan Khairil Anas

²Teknik Mesin, Universitas Balikpapan, Jl Pupuk Raya Balikpapan Budha Maryanti, S.T., M.T

³Teknik Mesin, Universitas Balikpapan, Jl Pupuk Raya Balikpapan Kuswandi Arifin, S.T., M.T

*E-mail: khairilanas258@gmail.com

ABSTRACT

Surface roughness characteristics are influenced by several cutting parameters including spindle speed, depth of cut, and tool path. One of the parameters that affect the surface roughness in the machining process is spindle speed. This study uses quantitative methods with stages of literacy, observation, and field documentation. The independent variables are variations in spindle speed, namely 500 rpm, 800 rpm, 1,200 rpm, feeding speed of 200 mm/min, and using 4 measurement points. The dependent variable is the roughness value of the spindle speed variation against AISI 4140 carbon steel and the controlled variable is the feed depth of 1 mm, the type of face mill chisel, and the standard roughness that has been set. In this study, the average roughness value was found at the spindle speed of 500 (rpm) with a value of 0.628 μm , the spindle speed of 800 (rpm) with a value of 0.361 μm , and the spindle speed of 1,200 (rpm) with a roughness value of 0.17 μm . What affects the surface roughness of the AISI 4140 material is the faster the spindle rotation rate, the smaller the roughness value on the surface of the AISI 4140 material.

Keywords: *Spindle speed, AISI 4140, (Computer Numerical Control) CNC, Surface roughness.*

ABSTRAK

Karakteristik kekasaran permukaan dipengaruhi oleh beberapa parameter pemotongan diantaranya yaitu kecepatan *spindle* (*spindle speed*), kedalaman potong (*depth of cut*), alur pahat (*tool path*). Salah satu parameter yang mempengaruhi kekasaran permukaan pada proses permesinan yaitu kecepatan *spindle* (*spindle speed*). Penelitian ini menggunakan metode kuantitatif dengan tahapan literasi, observasi, dan dokumentasi lapangan. Adapun variabel bebas yaitu variasi kecepatan *spindle* yaitu 500 rpm, 800 rpm, 1.200 rpm, kecepatan pemakanan sebesar 200 mm/min dan menggunakan 4 titik pengukuran. Variabel terikat yaitu nilai kekasaran variasi kecepatan *spindle* terhadap baja *carbon* AISI 4140 dan variabel terkontrol yaitu kedalaman pemakanan 1 mm, jenis pahat *face mill* dan standar kekasaran yang telah ditetapkan. Pada penelitian ini didapatkan nilai rata-rata kekasaran yaitu pada kecepatan *spindle* 500 (rpm) dengan nilai 0,628 μm , kecepatan *spindle* 800 (rpm) dengan nilai 0,361 μm dan pada kecepatan *spindle* 1.200 (rpm) dengan nilai kekasarannya 0,17 μm . Yang mempengaruhi kekasaran pada permukaan material AISI 4140 adalah semakin laju putaran *spindle* maka semakin kecil nilai kekasaran pada permukaan material AISI 4140.

Kata kunci: Kecepatan *spindle*, AISI 4140, (*Computer Numerical Control*) CNC, Kekasaran permukaan.

PENDAHULUAN

Karakteristik kekasaran permukaan dipengaruhi oleh beberapa parameter pemotongan diantaranya yaitu kecepatan putaran *spindle* (*spindle speed*), kedalaman potong (*depth of cut*), alur pahat (*tool path*). Salah satu parameter yang mempengaruhi kekasaran permukaan pada proses permesinan yaitu kecepatan *spindle* (*spindle speed*) [1]. Oleh karena itu, untuk mengetahui kecepatan *spindle* terbaik tingkat kekasaran dalam proses permesinan dilakukan analisis variasi kecepatan *spindle* terhadap tingkat kekasaran permukaan. Berdasarkan informasi yang telah terkumpul dan didapatkan dari departemen PT Bumi Intan Gemilang, bahwa tingkat kepresisian serta kekasaran permukaan yang tidak sesuai dengan standar yang ditetapkan oleh perusahaan (JIS) masih sering terjadi. Oleh karena itu, maka dilakukan studi dan riset mengenai proses permesinan yang tepat agar tingkat kepresisian serta kekasaran permukaan sesuai standar yang telah ditetapkan oleh perusahaan. Hasil yang didapatkan dari penelitian ini diharapkan dapat meminimalisir proses permesinan berulang dan waktu pengerjaan produk agar dapat dikirim ke *costumer* dengan kualitas yang bermutu.

TUJUAN PENELITIAN

Tujuan penelitian ini adalah untuk mengetahui berapa nilai rata-rata kekasaran (μm) pada permukaan material AISI 4140 dengan variasi kecepatan *spindle* dan untuk mengetahui berapa kecepatan *spindle* terbaik terhadap kekasaran permukaan material AISI 4140.

BATASAN MASALAH

1. Material yang digunakan adalah baja karbon AISI 4140. Pemilihan bahan didasarkan karena bahan umum digunakan di perusahaan PT Bumi Intan Gemilang.
2. Proses permesinan menggunakan CNC *milling router 3 axis* dengan sistem *control mach 3*.
3. Pahat yang digunakan adalah *face mill* \varnothing 100 mm.

4. Parameter pemesinan terdiri atas: kecepatan putaran *spindle* (n) sebesar 500 rpm, 800 rpm, 1.200 rpm, kecepatan pemakanan (vf) sebesar 200 mm/min, kedalaman pemakanan (a) sebesar 1 mm dengan panjang spesimen material 100 mm, lebar 80 mm, dan tebal 50 mm.
5. Alur pahat (*tool path*) menggunakan *one way*.
6. Proses pengukuran dilakukan hanya pada kekasaran permukaan menggunakan *roughness tester*.

MANFAAT PENELITIAN

- a. Bagi mahasiswa, dapat menjadi suatu informasi dan pengetahuan baru tentang cara menganalisis kekasaran material, dan sebagai salah satu syarat kelulusan bagi mahasiswa untuk memenuhi tugas skripsi pada program studi Strata 1 (S1) ilmu Teknik Mesin Fakultas Teknologi Industri di Universitas Balikpapan.
- b. Bagi Universitas Balikpapan, dapat menjadi salah satu kampus terbaik di Kalimantan Timur dalam hal analisis material yang digunakan dalam sebuah industri. Dapat menambah pengetahuan bagi mahasiswa, khususnya mahasiswa Program Studi Teknik Mesin Fakultas Teknologi Industri Universitas Balikpapan.
- c. Bagi perusahaan, sebagai bahan pertimbangan kepada PT Bumi Intan Gemilang untuk meningkatkan mutu dan kualitas dalam pelayanan jasa *repair*, *service* dan *fabrikasi* terutama pada tingkat kekasaran proses pemesinan.

TINJAUAN PUSTAKA

Pada penulisan penelitian ini meninjau dari beberapa refrensi penelitian terlebih dahulu diantaranya, Margen dan Riyadi [2] dalam penelitian “Analisis Pengaruh Variasi Putaran Mesin CNC *Milling* MCV Terhadap Sifat Mekanik Logam Aluminium AA 5052 - H112”. Analisis ini bertujuan untuk mencari variasi putaran mesin agar diketahui putaran yang baik selama proses permesinan *milling* sehingga mendapatkan *setting* yang sesuai pada putaran mesin sehingga menghasilkan

kualitas yang baik pada kekasaran permukaan dan kekerasan permukaan. Bahan yang digunakan adalah aluminium AA 5052-H112, alat yang digunakan adalah mesin CNC *milling* MCV menggunakan pahat *face mill*, kemudian aluminium di proses dengan *milling* dengan variasi putaran mesin 700 rpm, 900 rpm, 1.100 rpm, 1.300 rpm dengan kecepatan potong tetap 50 mm/menit, setelah proses selesai kemudian melakukan uji kekasaran permukaan dan kekerasan. Dari hasil penelitian diperoleh kekasaran yang paling halus adalah pada putaran mesin 1.100 rpm sebesar 1,24 μm , sedangkan yang paling kasar adalah pada putaran 700 rpm sebesar 1,38 μm , sedang putaran tertinggi 1.300 rpm mempunyai nilai kekasaran diatas putaran 700 rpm sebesar 1,31 μm . Carles dan Yusuf [3] dalam penelitian “Analisis Kekasaran Permukaan Terhadap Kekerasan Material Pada Proses *Milling* Dengan Variasi Kecepatan *Feeding*”. Analisis ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh *feeding* pada proses *end milling surface* terhadap tingkat kekasaran yang optimal. Metode yang digunakan yaitu metode eksperimen. Variabel bebas dalam penelitian ini adalah variasi *feeding* dimana nilai *feeding* yang diambil adalah 150 mm/min, 300 mm/min, dan 450 mm/min serta 3 variasi material dengan tingkat kekerasan yang berbeda. Variabel terikatnya adalah tingkat kekasaran, sedangkan variabel kontrol adalah *depth of cut* (0,5 mm) dan kecepatan *spindle* (3.000 rpm). Sedangkan proses yang digunakan adalah proses CNC *milling surface*. Pengujian kekasaran menggunakan *surface roughness tester*. Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan, *setting* parameter *feeding* berpengaruh terhadap tingkat kekasaran permukaan material pada proses *end milling surface*, semakin tinggi nilai *feeding* maka semakin tinggi tingkat kekasaran yang dihasilkan dari proses penyayatan.

Nurul dan Suryanto [4] dalam penelitian “Pengaruh Kecepatan Putaran *Spindle* Terhadap Getaran Mesin *Frais* Pada Proses Pemakanan Dan Kekasaran Permukaan

Benda Kerja”. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh dari variasi kecepatan putaran *spindle* terhadap kekasaran dan getaran yang dihasilkan, serta mengetahui kecepatan putaran *spindle* yang optimal agar mendapatkan nilai kakasaran permukaan produk yang kecil pada proses permesinan *frais*. Penelitian ini menggunakan material baja SS400 dan menggunakan mesin *frais* universal KNEE tipe 57-3C dengan pahat *flat end mill 4 flutes*. Penyayatan *end milling surface* dengan gerak pemakanan *up cut milling*. Variasi kecepatan putaran *spindle* 178 rpm, 310 rpm dan 570 rpm. Kedalaman pemakanan 0,5 mm dan kecepatan pemakanan sebesar 10,5 mm/min pada mesin *frais* universal. Dari hasil penelitian diperoleh getaran terbesar yaitu 6,3 mm/s terjadi pada kecepatan putaran *spindle* 570 rpm dengan kecepatan pemakanan 10,5 mm/min. Sedangkan kekasaran permukaan terendah yaitu 1,907 μm terjadi pada kecepatan putaran *spindle* 178 rpm dengan kecepatan pemakanan 10,5 mm/min.

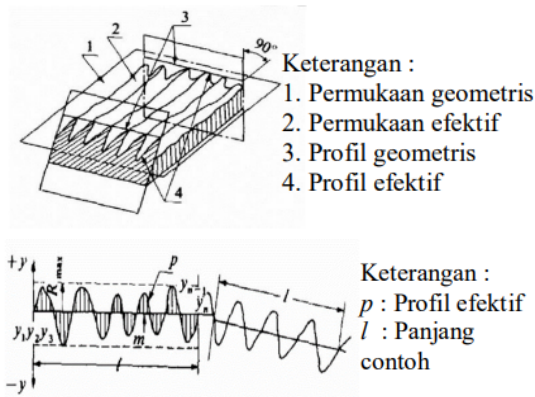
Kekasaran Permukaan

Kekasaran permukaan adalah komponen tekstur dari permukaan. Nilai kekasaran itu sendiri dinyatakan dalam *roughness average* atau *Ra*. Nilai kekasaran *Ra* adalah parameter kekasaran yang paling umum dan sering digunakan diberbagai negara. *Ra* sendiri bisa diartikan sebagai rata-rata aritmatika serta adanya penyimpangan pada profil kekasaran. Dalam *surface roughness* atau pengukuran kekasaran permukaan, terdapat besaran kekasaran yang digambarkan dengan simbol *Ra*, *Rt* dan *Rmax*. *Ra* (*roughness average*) adalah rata-rata permukaan yang di dapatkan dari titik tengah serta diukur dari titik awal hingga akhir. *Rt* (*roughness total*) adalah jarak antara perbedaan gelombang tertinggi dengan gelombang terendah. *Rmax* (*roughness maximum*) adalah gelombang tertinggi yang diukur dari titik nol.

Penyimpangan Rata-Rata Aritmetik

Penyimpangan rata-rata aritmetik *Ra* ialah harga rata-rata dari ordinat-ordinat profil efektif garis rata-ratanya. Profil

efektif berarti garis bentuk (contur) dari potongan permukaan efektif oleh sebuah bidang yang telah ditentukan secara konvensional, terhadap permukaan geometris ideal [10].



Gambar 1 Penyimpangan Rata-Rata Aritmetik Ra Dari Rata-Rata Profil [10]

Kekasaran rata-rata merupakan harga rata-rata secara aritmetik dari harga absolute antara harga profil geometris dengan profil efektif. Dalam hal ini dapat dirumuskan sebagai berikut : [10]

$$Ra = \frac{\sum [y]}{n} = \quad (1)$$

Dimana : Ra = Kekasaran Rata-rata

$$\sum [y] = \text{Titik Pengukuran}$$

n = Jumlah Sampel

Konfigurasi Permukaan

Konfigurasi permukaan yang mencakup antara lain kekasaran permukaan dan arah bekas pengerjaan (tekstur), memegang peranan penting dalam perencanaan suatu elemen mesin. Konfigurasi permukaan yang diminta perencana harus dinyatakan dalam gambar, menurut cara-cara yang sesuai dengan standar. Kekasaran permukaan adalah penyimpangan rata-rata profil, yang selanjutnya disebut nilai kekasaran (Ra) [10].

Angka kekasaran (ISO number) dimaksudkan untuk menghindari terjadinya kesalahan atas satuan harga kekasaran. Jadi spesifikasi kekasaran dapat langsung dituliskan nilainya atau

dengan menuliskan angka kekasaran ISO. Panjang sampel pengukuran disesuaikan dengan angka kekasaran yang dimiliki oleh suatu permukaan. Toleransi harga kekasaran rata-rata, Ra dari suatu permukaan tergantung pada proses pengerjaannya [10].

Tabel 1 Nilai Kekasaran dan Tingkat Kekasaran Menurut ISO [10]

| Kekasaran Ra (µm) | Tingkat kekasaran | Panjang sampel (mm) |
|-------------------|-------------------|---------------------|
| 50 | N12 | 8 |
| 25 | N11 | |
| 12,5 | N10 | 2,5 |
| 6,3 | N9 | |
| 3,2 | N8 | |
| 1,6 | N7 | 0,8 |
| 0,8 | N6 | |
| 0,4 | N5 | |
| 0,2 | N4 | |
| 0,1 | N3 | 0,25 |
| 0,05 | N2 | |
| 0,025 | N1 | 0,08 |

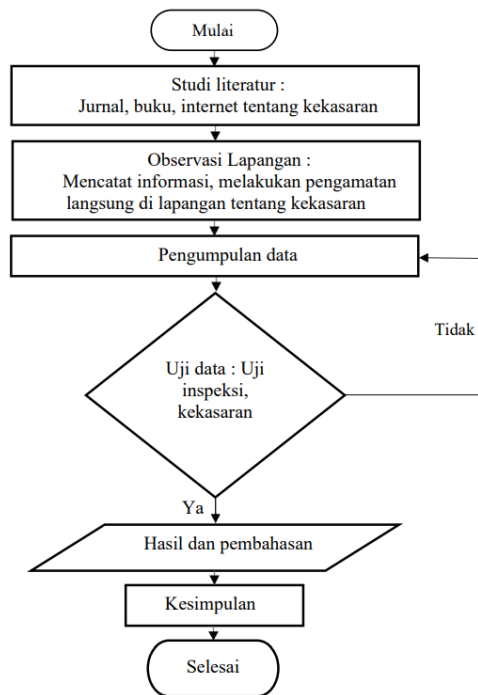
Surface Roughness Tester

Surface roughness tester adalah alat pengukuran kekasaran permukaan. Setiap permukaan komponen dari suatu benda mempunyai beberapa bentuk yang bervariasi menurut strukturnya maupun dari hasil proses produksinya.

Roughness kekasaran didefinisikan sebagai ketidakhalusan bentuk yang menyertai proses produksi yang disebabkan oleh pengerjaan mesin atau sebab lainnya. Nilai kekasaran dinyatakan dalam roughness average (Ra). Ra merupakan parameter kekasaran yang paling banyak dipakai secara internasional.

Prinsip kerja dari alat ini adalah dengan menggunakan transducer dan diolah dengan mikro processor. Roughness tester dapat digunakan di setiap posisi, horizontal, vertikal atau di mana pun. Sensor mendapatkan kekasaran permukaan dengan probe tajam built-in. Instrumen roughness meter ini kompatibel dengan empat standar dunia yaitu ISO, DIN, ANSI, dan JIS sehingga tidak diragukan dalam ketepatan dan keakuratannya [11].

METODE PENELITIAN



WAKTU DAN TEMPAT PENELITIAN

Waktu penelitian terhitung pada bulan Juni 2022. Tempat penelitian ini dilakukan di PT Bumi Intan Gemilang yang berlokasi di Jl. Sultan Hasanuddin KM 5,5 RT. 048 No. 23 Kelurahan Karang Joang, Balikpapan Kalimantan Timur, Indonesia.

TEKNIK PENGUMPULAN DATA

Metode penelitian yang digunakan pada skripsi ini adalah metode kuantitatif dengan tahapan:

- Observasi, merupakan aktivitas penelitian dalam rangka mengumpulkan data yang berkaitan dengan masalah penelitian melalui proses pengamatan langsung di lapangan. Observasi adalah tahapan pengumpulan data dimana untuk mencatat informasi selama penelitian. Pengumpulan data dilakukan untuk memperoleh informasi yang dibutuhkan dalam rangka mencapai tujuan penelitian. Secara sederhana, pengumpulan data dapat diartikan sebagai proses atau kegiatan yang dilakukan untuk mengungkap atau menjangkau berbagai informasi atau kondisi lokasi sesuai dengan lingkup penelitian.
- Studi literatur, studi literatur merupakan

teknik pengumpulan data dengan cara mengumpulkan teori-teori pendukung yang berisi informasi ataupun petunjuk untuk melakukan percobaan. Studi literatur bisa didapatkan dari *jurnal*, *website*, *tesis*, dan buku.

- Eksperimen sebagai salah satu penelitian yang dengan sengaja melakukan manipulasi terhadap satu atau lebih variabel lain yang diukur. Selain ini, bahwa metode penelitian eksperimental merupakan satu-satunya metode yang dapat menguji secara benar.

VARIABEL PENELITIAN

- Variabel bebas, adalah variasi kecepatan *spindle* yang di uji pada baja *carbon* AISI 4140 yaitu 500 rpm, 800 rpm, 1.200 rpm, kecepatan pemakanan sebesar 200 mm/min dan menggunakan 4 titik pengukuran.
- Variabel terikat, nilai kekasaran variasi kecepatan *spindle* terhadap baja AISI 4140.
- Variabel terkontrol, kedalaman pemakanan diambil 1 mm, jenis pahat *face mill* dan standar kekasaran yang ditetapkan $Ra = 0,1 - 0,8 \mu m$ (standar JIS 1994).

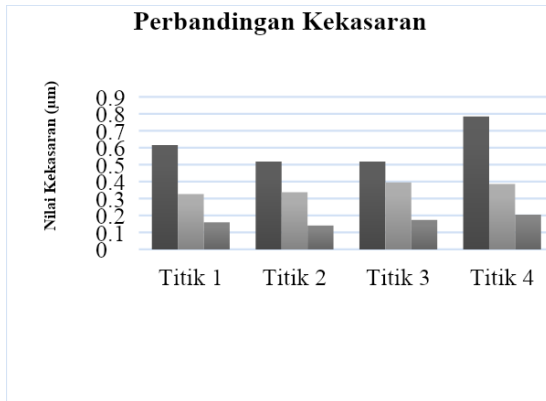
HASIL DAN PEMBAHASAN

Tabel 2 Nilai Kekasaran Permukaan Material AISI 4140 Dengan Variasi Kecepatan *Spindle*

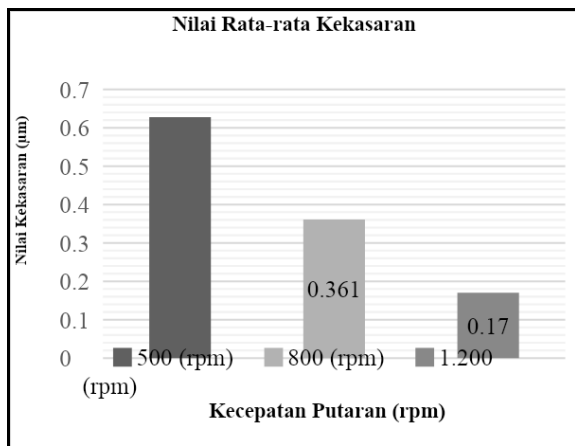
| Titik Pengukuran | Kekasaran Permukaan (μm) | | |
|--------------------|---------------------------------|-----------|-------------|
| | 500 (rpm) | 800 (rpm) | 1.200 (rpm) |
| Titik 1 | 0,616 | 0,327 | 0,160 |
| Titik 2 | 0,518 | 0,338 | 0,141 |
| Titik 3 | 0,594 | 0,396 | 0,174 |
| Titik 4 | 0,785 | 0,386 | 0,205 |
| Standar (JIS 1994) | 0,1-0,8 (μm) | | |

Tabel 3 Data Hasil Rata-Rata Kekasaran Permukaan Material AISI 4140 Dengan Variasi Kecepatan *Spindle*

| Hasil | Kekasaran Permukaan (μm) | | |
|------------------------------|---------------------------------------|-----------|-------------|
| | 500 (rpm) | 800 (rpm) | 1.200 (rpm) |
| Rata-rata | 0,628 | 0,361 | 0,17 |
| Angka kekasaran | N5 | N4 | N3 |
| Standar Kekasaran (JIS 1994) | 0,1 - 0,8 (μm) | | |



Gambar 2 Grafik Perbandingan Nilai Kekasaran



Gambar 3 Grafik Nilai Rata-Rata Kekasaran

Berdasarkan hasil penelitian ini, dilakukan perhitungan untuk mengetahui besar nilai rata-rata kekasaran (μm) dan kecepatan *spindle* terbaik terhadap kekasaran permukaan material AISI 4140 tersebut. Setelah melakukan pengujian dan perhitungan pada material AISI 4140 dengan variasi kecepatan *spindle*, maka dapat diketahui nilai rata-rata kekasaran yaitu pada kecepatan *spindle* 500 (rpm)

dengan nilai 0,628 μm , kecepatan *spindle* 800 (rpm) dengan nilai 0,361 μm dan pada kecepatan *spindle* 1.200 (rpm) dengan nilai kekasarannya 0,17 μm . Pada hasil perhitungan rata-rata kekasaran pada permukaan material AISI 4140 dengan variasi kecepatan *spindle* maka dapat disimpulkan bahwa kecepatan putaran *spindle* 1.200 lebih kecil kekasarannya dengan nilai 0,17 μm sedangkan untuk putaran *spindle* 500 lebih besar kekasarannya dengan nilai 0,628 μm . Hal yang mempengaruhi kekasaran pada permukaan material AISI 4140 adalah semakin laju putaran *spindle* maka semakin kecil nilai kekasaran pada permukaan material AISI 4140.

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil analisis data dan pembahasan yang telah dilakukan pada material AISI 4140 dengan variasi kecepatan *spindle* adalah nilai rata-rata kekasaran pada permukaan material AISI 4140 dengan variasi kecepatan *spindle* yaitu pada kecepatan *spindle* 500 (rpm) dengan nilai 0,628 μm , pada kecepatan *spindle* 800 (rpm) dengan nilai 0,361 μm dan pada kecepatan *spindle* 1.200 (rpm) dengan nilai kekasarannya 0,17 μm dan kecepatan putaran *spindle* terbaik yaitu pada putaran 1.200 (rpm) dengan nilai rata-rata kekasarannya 0,17 μm . Nilai tersebut lebih kecil dibandingkan dengan putaran *spindle* 500 (rpm) dan 800 (rpm) dengan nilai rata-rata kekasarannya yaitu 0,628 μm dan 0,361 μm .

SARAN

Berdasarkan kesimpulan dari hasil penelitian ini, maka saran yang disampaikan dalam penelitian ini yaitu:

1. Pada saat melakukan proses permesinan terhadap material baja AISI 4140 menggunakan mesin CNC *milling* sangat direkomendasikan untuk menghasilkan kualitas dan tingkat kepresisian terhadap produk yang dihasilkan.
2. Kecepatan putaran *spindle* sangat disarankan karena dapat mempengaruhi kualitas dan tingkat kepresisian permukaan pada baja AISI

4140 sesuai standar yang telah ditetapkan.

UCAPAN TERIMAKASIH

Penelitian ini dapat dilaksanakan dengan baik berkat bantuan dari berbagai pihak, untuk itu peneliti mengucapkan terima kasih kepada direktur, koordinator workshop, *quality control* dan seluruh karyawan di PT Bumi Intan Gemilang yang telah memberikan bantuan dalam penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] T. Hidayat and B. A. Hasyim, "Pengaruh Kedalaman Pemakanan, Jenis Pendingin dan Kecepatan *Spindle* Terhadap Kekasaran Permukaan Benda Kerja Pada Proses Bubut Konvensional," *Jurnal Teknik Mesin*, vol. 1, no. 1, pp. 62–67, 2015.
- [2] S. Y. Margen and S. Riyadi, "Analisa Pengaruh Variasi Putaran Mesin Cnc Milling Mev- 1100 Terhadap Sifat Mekanik Logam Aluminium Aa 5052 - H112," *Jurnal Ilmiah Momentum*, vol. 16, no. 2, pp. 122–126, 2020.
- [3] H. Carles and M. Yusuf, "Analisa Kekasaran Permukaan Terhadap Kekerasan Material Pada Proses Milling Dengan Variasi Kecepatan Feeding," *Jurnal Teknik Mesin*, vol. 08, no. 2, pp. 10–16, 2019.
- [4] S. Nurul Fitriana and H. Suryanto, "Pengaruh Kecepatan Putaran *Spindle* Terhadap Getaran Mesin Frais Pada Proses Pemakanan Dan Kekasaran Permukaan Benda Kerja," *Jurnal Teknik Mesin*, vol. 1, no. 01, pp. 13–18, 2021.
- [5] D. Gibbs and C. M. Thomas, *Teknik Permesinan Bubut CNC*. Bandung: PT Remaja Rosdakarya Offset, 2013.
- [6] W. Sumbodo, *Teknik Produksi Mesin Industri Jilid 2*. Semarang: UNNES, 2008.
- [7] Widarto, *Teknik Permesinan Jilid 2*. Yogyakarta: Paramitra Publishing, 2008.
- [8] G. Vukelic and J. Brnic, "Marine Shaft Steels AISI 4140 and AISI 5120 Predicted Fracture Toughness," *ASME International*, vol. 23, no. 1, pp. 16–20, 2017.
- [9] S. Munadi, *Dasar-Dasar Metrologi Industri*. Jakarta: Panduan Pengajar Buku Dasar-dasar Metrologi Industri, 2017.
- [10] G. Takeshi and N. Sugiarto, *Menggambar Mesin Menurut Standar ISO*. Jakarta: Association for International Technical Promotion (Japan), 1986.
- [11] F. Nizar, A. Budhi, and F. Lukman, "Pengaruh Variasi Kecepatan *Spindle* Terhadap Nilai Kekasaran Permukaan Baja Karbon Tinggi Menggunakan Endmill 3 Flute Carbide," *Jurnal Teknik Mesin*, vol. 1–8, 2008.